



Géochimie des éléments nutritifs dans les eaux de la lagune sud de Tunis

Geochemistry of nutrients in the waters of the southern lagoon of Tunis

Myriam ABIDI ¹, Rim BEN AMOR ¹ & Moncef GUEDDARI ¹

Abstract : In Order to study the water quality of the southern lagoon of Tunis, especially in keeping with the importance of human activity in this area, a geochemical study of nutrients, of the physicochemical parameters and the assessment of organic pollution, was conducted. The analysis of nutrients elements shows that the natural nitrogen cycle is disrupted, and this is probably due to contributions in wastewater and the high load of phytoplankton. The values of DBO and COD are very high in the South lagoon of Tunis. The COD / DBO ratio shows that the organic matter presents in the lagoon are moderately biodegradable indicating a dual origin (internal and external). The results suggest exceeding the assimilative capacity of the lagoon. This has as effect to cause a significant decrease in dissolved oxygen.

Keywords : Tunis, Southern lagoon, Geochemistry, Pollution.

Résumé : Afin d'étudier la qualité des eaux de la lagune Sud de Tunis, en rapport avec l'importance de l'activité anthropique dans ce secteur, une étude géochimique des éléments nutritifs, des paramètres physico-chimiques et des paramètres d'évaluation de la pollution organique, a été effectuée. L'analyse des composés inorganiques dissous de l'azote et du phosphore montre que le cycle naturel de l'azote est fortement perturbé, et ceci est probablement dû aux apports en eaux usées et à la forte charge en phytoplancton. Les valeurs de la DBO₅ (demande biochimique en oxygène pendant cinq jours) et la DCO (demande chimique en oxygène) sont très élevées dans la lagune Sud de Tunis. Le rapport DCO/DBO₅ montre que la matière organique présente dans la lagune est moyennement biodégradable indiquant une double origine (interne et externe). Les résultats obtenus suggèrent un dépassement de la capacité d'autoépuration de la lagune. Ce qui a pour effet de provoquer une baisse importante des teneurs en oxygène dissous

Mots-clés : Tunis, Lagune sud, lagune Sud de Tunis, Géochimie, Pollution.

INTRODUCTION

Le lac de Tunis est situé au fond de la baie de Tunis (Fig.1). Il s'agit d'un complexe lagunaire, composé des lagunes nord et sud, séparées par le canal de navigation. En raison de sa proximité de la grande ville de Tunis, le lac de Tunis était le seul réceptacle des eaux usées non traitées de différentes origines. Les eaux déversées dans la lagune Nord étaient essentiellement d'origine domestique, alors qu'au niveau de la lagune Sud, les rejets étaient essentiellement d'origine industrielle. La lagune Sud de Tunis, objet de notre étude, présentait, avant aménagement, une superficie de 1300 ha pour une profondeur ne dépassant pas 1 mètre. La forme de ses berges était irrégulière. La lagune présentait une mauvaise communication avec le Golfe de Tunis, avec un taux de renouvellement faible (L'échange entre la mer et la lagune était insignifiant. la masse d'eau qui entraînait du golfe via le canal de Radès était très faible et l'eau stagnait dans la lagune) Tous ces facteurs ont contribué à la dégradation de cet écosystème. La pollution de la lagune Sud s'est manifesté par le phénomène "des eaux rouges" et par des crises dystrophiques" surtout en période estivale.

(*)- U.R. Géochimie et Géologie de l'Environnement, Département de Géologie, Faculté des Sciences de Tunis, Campus universitaire, 2092, Tunisie.

Cet état catastrophique a été à l'origine d'un grand projet de restauration et d'aménagement. Il a été réalisé par la Société d'Etudes et de promotion de Tunis Sud (SEPTS), entre avril 1998 et Juin 2001. Le projet consistait essentiellement à obtenir une bathymétrie homogène par un dragage des sédiments pollués et par un remblayage des zones de faibles profondeurs, ainsi que l'installation d'un système de fonctionnement hydraulique qui impose un sens unique de la circulation des eaux (Fig.2)

Afin de contribuer à la compréhension du fonctionnement de la lagune, à la qualité de ses eaux et à sa valorisation, une étude de la qualité de ses eaux, des paramètres physico-chimiques et des teneurs des éléments nutritifs a été entreprise.

Ce travail a eu pour principaux objectifs l'estimation de l'état trophique de la lagune ainsi que l'identification des facteurs et des phénomènes naturels et anthropiques qui contrôlent les paramètres d'évolution de la qualité de ses eaux.

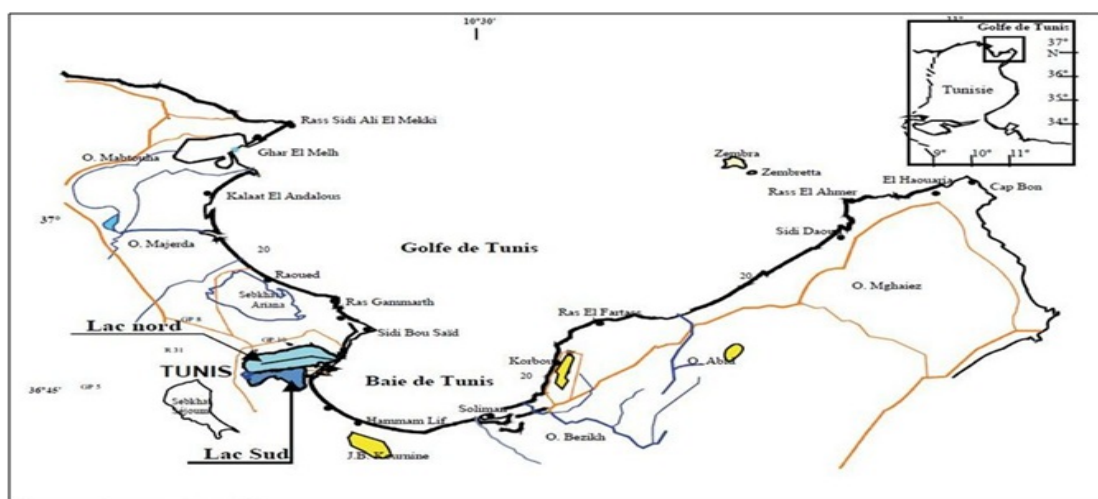


Figure 1- Carte de localisation de la lagune Sud de Tunis (JOUINI Z. *et al*, 2001)

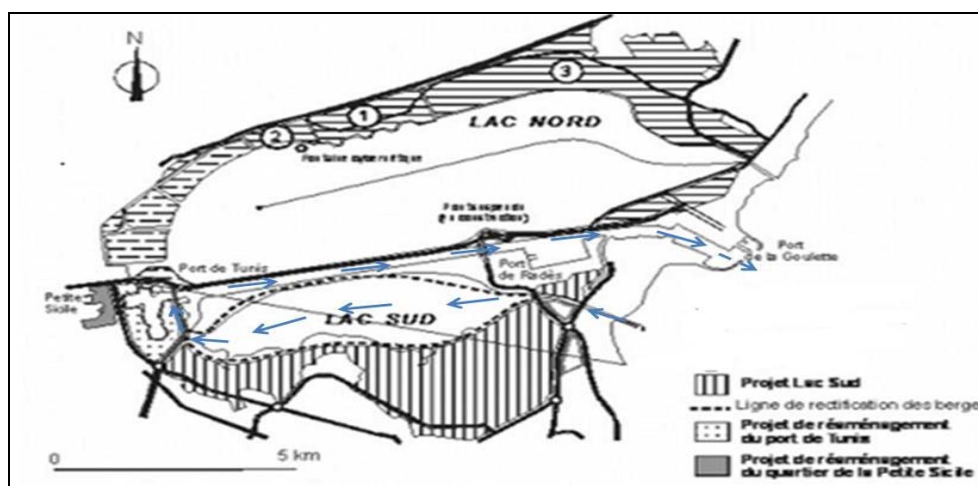


Figure 2 - Plan d'aménagement du complexe lagunaire de Tunis (plan de détail de SPLT. Carto.H.DLALA.2007)

CADRE GENERAL

Le Golfe de Tunis a un climat méditerranéen semi-aride caractérisé par une évaporation qui excède les précipitations. La pluviométrie est irrégulière avec, comme mois les plus secs, juin et juillet. Le vent dominant est du secteur Nord-est [1].

A cause de sa faible profondeur, l'hydrodynamisme de la lagune est contrôlé par la marée qui est de type semi-diurne, légèrement amortie par le Golfe de Tunis et par le vent. Au niveau du Golfe, le marnage varie entre 12 cm en mortes eaux et 30 à 40 cm en vives eaux [2]. La lagune est

en communication directe avec la mer par le canal de Radès. Il existe également une communication indirecte via le canal de navigation [3].

MATERIELS ET METHODES

Dans le cadre de l'étude de la qualité des eaux de surface de la lagune Sud de Tunis, des prélèvements ont été réalisés au mois de juin 2012. Au total, 19 échantillons de surface ont été prélevés de façon à couvrir la totalité de la lagune. Les mesures de la température, du pH, de l'oxygène dissous et de la salinité ont été effectuées in situ (Fig.3).

Les échantillons prélevés ont fait l'objet, en plus des mesures des paramètres physico-chimiques, d'analyses au laboratoire de Géochimie et de Géologie de l'Environnement du département de Géologie (F.S.T.), des éléments nutritifs (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , HPO_4^- , de la DBO_5 (demande biochimique en oxygène pendant cinq jours), de la DCO (demande chimique en oxygène) et de la *chlorophylle a*.

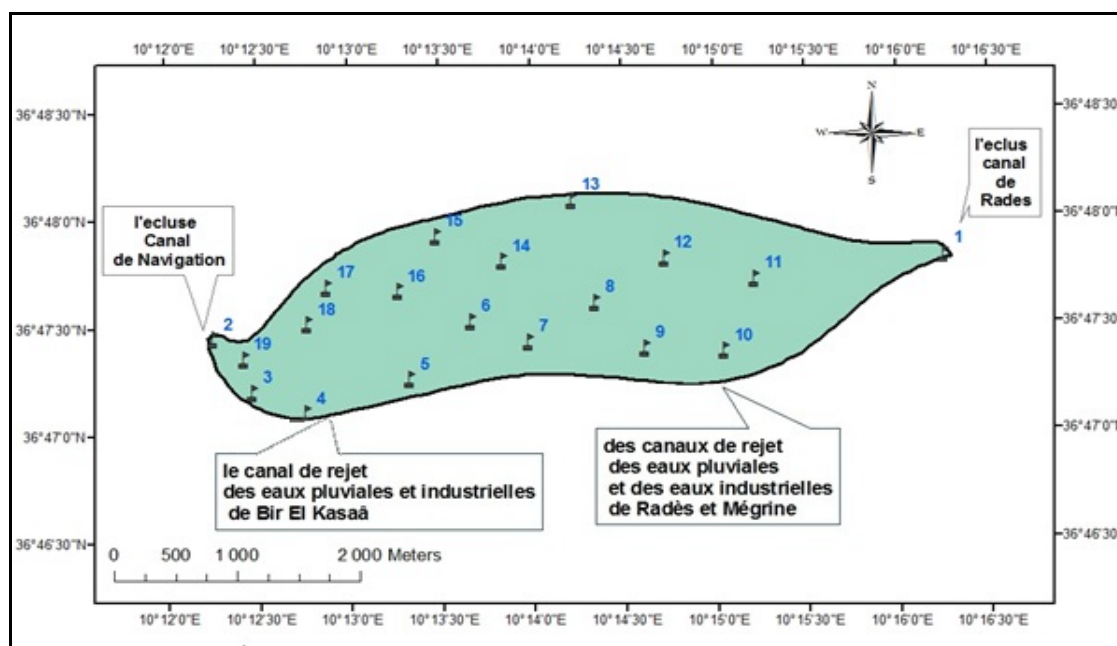


Figure 3 : Carte de localisation des sites de prélèvement des eaux de surface de la lagune Sud de Tunis

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les paramètres physicochimiques

La température : Les valeurs enregistrées de la température sont comprises entre 25,6°C et 32,3°C. La répartition spatiale montre un gradient croissant allant du Canal de Radès vers l'ancien port de Tunis. Ce qui est expliqué par l'entrée des eaux froides du Golfe vers la lagune.

Le pH : Le pH de la lagune est neutre à légèrement basique. La plus faible valeur enregistrée est de 8,43; alors que la valeur la plus élevée est 8,81. La plus faible valeur est enregistrée à l'entrée de canal de Radès.

La salinité : La salinité des eaux de surface de la lagune varient entre 30,8 et 37,9 g/l. La carte de répartition spatiale de la salinité montre que les teneurs les plus faibles sont enregistrées au secteur SW de la lagune. Cette baisse peut être expliquée par la dilution due aux apports des eaux peu chargées en sels dissous.

MES (matières en suspension) et Turbidité : Les MES sont considérées comme une forme de pollution lorsque les teneurs sont assez élevées. Les charges de MES dans les échantillons récoltés au niveau de la lagune varient entre 0,68 à 7,6 mg/l. La turbidité varie entre 6 à 15 NTU

(Nephelométric Turbidity Unit), la partie ouest de la lagune paraît plus turbide et plus chargée en MES

L'oxygène dissous : L'oxygène dissous est indispensable pour le maintien de l'équilibre de l'écosystème aquatique. Il est un excellent indicateur de la qualité de l'eau. Au niveau de la lagune, les teneurs enregistrées sont très faibles, elles varient en effet, entre 2,24 et 3,49 mg/l.

La répartition spatiale des valeurs de ce paramètre est hétérogène. Les teneurs les plus faibles sont enregistrées à l'ouest et à l'extrême Nord de la lagune (Fig.4).

La chlorophylle a

La charge en *chlorophylle a* dans une eau peut donner une indication sur le degré trophique de celle-ci, elle indique les quantités existantes de phytoplancton et l'activité biologique des eaux [4]

Les teneurs en *chlorophylle a* varient entre 6,33 et 48,75 mg/m³, ce qui est considéré comme des valeurs relativement élevées. Les plus faibles teneurs sont enregistrées au SW du secteur d'étude au niveau de la zone des rejets de Bir el Kassâa. Les plus fortes teneurs caractérisent les eaux prélevées au N et au centre. On a noté que la répartition de chlorophylle a est à peu près similaire à celle d'azote ammoniacal et contraire à celle de l'oxygène. (Fig. 4)

Paramètres d'évaluation de la pollution organique

L'eutrophisation des eaux est définie par un enrichissement de ces eaux par des éléments nutritifs (azote et phosphore). Le degré de pollution peut être illustré par la détermination de la DBO₅ et la DCO.

DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours) : Au niveau de la lagune, la DBO varie entre 640 à 1344 mg O₂/l. D'une manière générale, ces valeurs sont considérées comme très élevées. Ces fortes teneurs témoignent d'une grande charge en matière organique. La carte de répartition de la DBO montre une individualisation de deux zones. Une première zone située à l'Ouest du secteur d'étude où les valeurs sont les plus faibles et une deuxième zone située à l'Est dont les valeurs y sont très élevées. A l'Est, l'oxygène est faible ce qui indique que la dégradation de la matière organique nécessite une grande consommation en O₂ (Fig. 5).

DCO (Demande Chimique en Oxygène) : Les valeurs de la DCO comme celles de la DBO sont très élevées sur la totalité de la lagune. Elles sont comprises entre 256 et 438 mg O/l. La répartition spatiale montre que les valeurs les plus élevées sont enregistrées au centre du secteur d'étude, là où les eaux sont les moins oxygénées (Figure 5).

La matière organique peut avoir deux origines: interne à la lagune et elle est dans ce cas biodégradable, mais elle peut également être de synthèse et alors d'origine industrielle. C'est dans ce cadre que le rapport DCO / DBO peut informer sur la nature de la matière organique présente dans la lagune. Les courbes d'évolution de la DCO et de la DBO montrant une évolution similaire, ces phénomènes agissent parallèlement. Le rapport DCO/DBO calculé varie entre 2,5 et 3,5 ; ce résultat montre que la matière polluante est facilement biodégradable (Fig.6).

ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

Matrice de corrélation (Pearson (n)) : voir tableau

On note :

- Des corrélations significatives entre la salinité d'une part avec les sels minéraux, surtout l'azote ammoniacal ($r^2=0,496$) et les nitrites ($r^2 = 0,604$) et d'autre part avec la température ($r^2=0,862$).
- L'absence de corrélation significative entre les différentes formes azotées (entre $r^2_{NO_3etNO_2}=0,226$, $r^2_{NH_4+/NO_3}=-0,44$, $r^2_{NH_4+/NO_2}=-0,517$), ce qui pourrait suggérer que les formes azotées pourraient avoir plusieurs origines, une origine exogène (rejets industriels et domestiques) et une origine interne par le processus de nitrification.
- Une corrélation positive entre la DBO et DCO ($r^2=0,69$).

- Les teneurs de la *chlorophylle a* sont corrélées négativement avec le pH ($r^2 = -0,587$) et l'azote ammoniacal ($r^2 = -0,5$). Ce dernier se présente comme étant un facteur limitant par excès.

Tableau : Matrice de corrélation (Pearson (n))

	pH	O2	DCO	DBO	Turbidité	salinité	NH4+	NO3-	NO2 -	H-PO4	Chl-a	T°C	MES
pH	1	-0,273	-0,013	0,360	0,077	0,256	0,639	-0,408	-0,276	-0,130	-0,587	-0,118	0,106
O2		1	0,200	0,008	-0,475	0,104	0,152	0,032	-0,067	0,297	0,079	-0,168	-0,011
DCO			1	0,685	-0,076	-0,214	0,147	-0,360	0,312	-0,075	-0,051	0,174	0,013
DBO				1	-0,023	0,118	0,421	-0,328	-0,027	0,115	-0,433	0,025	0,170
Turbidité					1	-0,634	-0,407	0,263	0,604	-0,242	0,178	0,597	0,219
salinité mg/l						1	0,496	-0,240	-0,977	0,146	-0,472	-0,862	-0,054
NH4+							1	-0,517	-0,443	0,140	-0,500	-0,463	-0,103
NO3-								1	0,226	0,488	0,136	0,427	-0,047
NO2 -									1	-0,067	0,466	0,813	-0,009
H-PO4										1	-0,375	0,081	-0,179
Chl-a											1	0,092	-0,129
T°C												1	0,147
MES													1

Analyse en composante principale : ACP

Pour visualiser les relations entre les différents paramètres biotiques et abiotiques, une analyse en composantes principales « ACP » a été réalisée.

L'analyse en composante principale a permis la discrimination de quatre axes qui cumulent 77,73 % de l'information. L'axe F1 explique 32,83% de la variabilité des paramètres. l'axe F2 présente 18,58% de la variabilité des paramètres étudiés, l'axe F3 par 13,75% et l'axe F4 par 12,54 %. Les quatre premiers axes pourront expliquer 63,218 % de l'inertie totale du nuage de points. (Fig7)

L'axe F1 est défini par la salinité, les nitrites, l'azote ammoniacal et la température. L'axe F2 est défini par la DBO₅ et la DCO. Tandis que l'axe F3 est défini par l'oxygène dissous et l'axe F4 par les orthophosphates et la *chlorophylle a*.

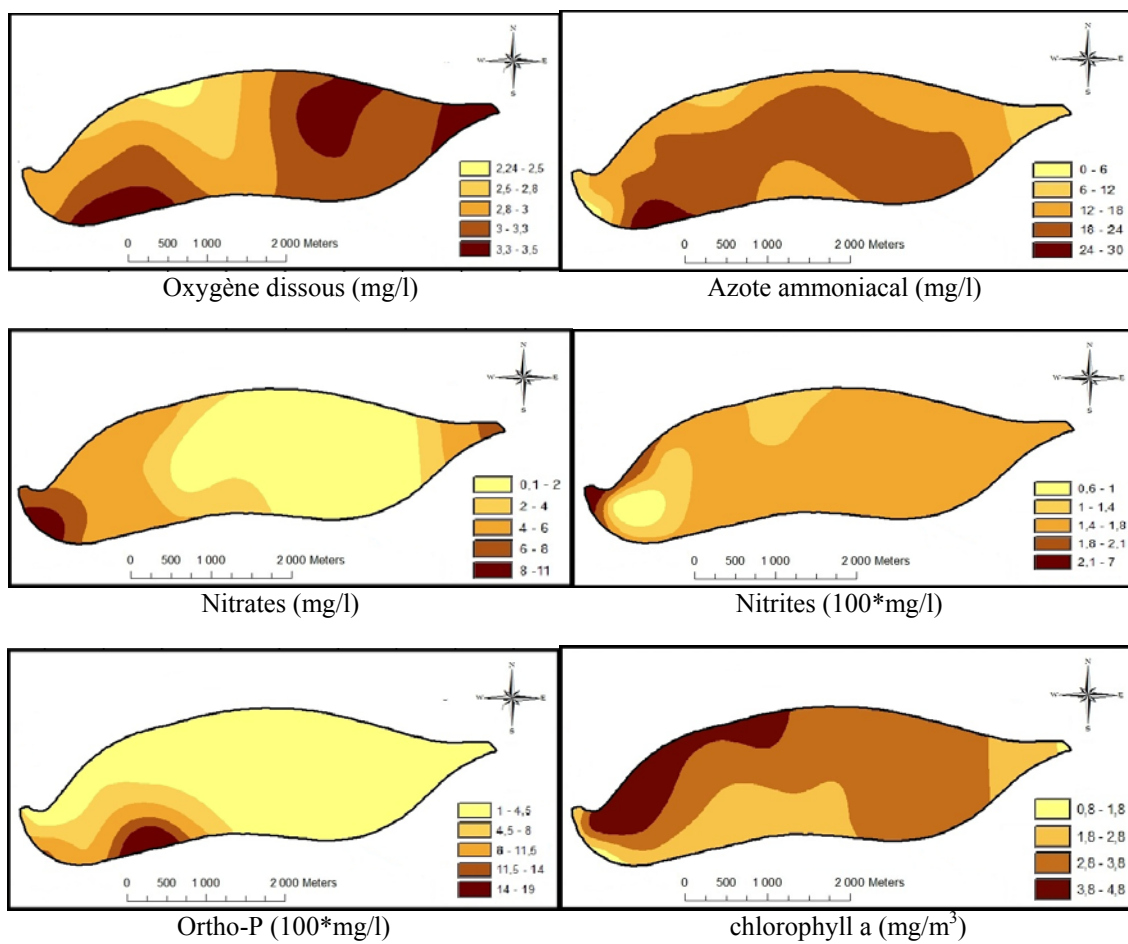


Figure 4 : Répartitions spatiales des teneurs de l'oxygène dissous, Azote ammoniacal, Nitrates, Nitrites, Ortho-P, dans la lagune sud de Tunis

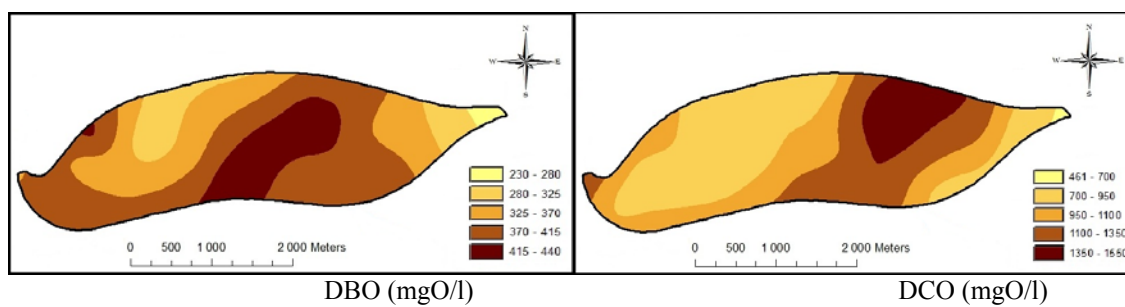


Figure 5 : Répartitions spatiales des teneurs de la DBO₅ et la DCO dans la lagune sud de Tunis

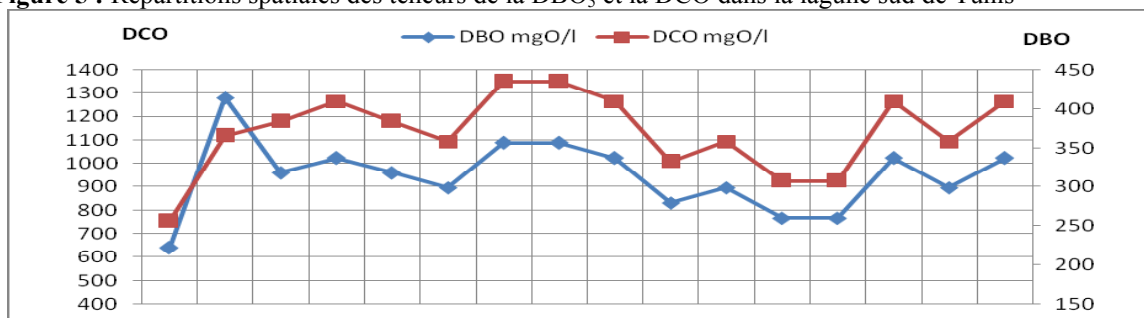


Figure 6 : les courbes d'évolution de la DBO₅ et la DCO.

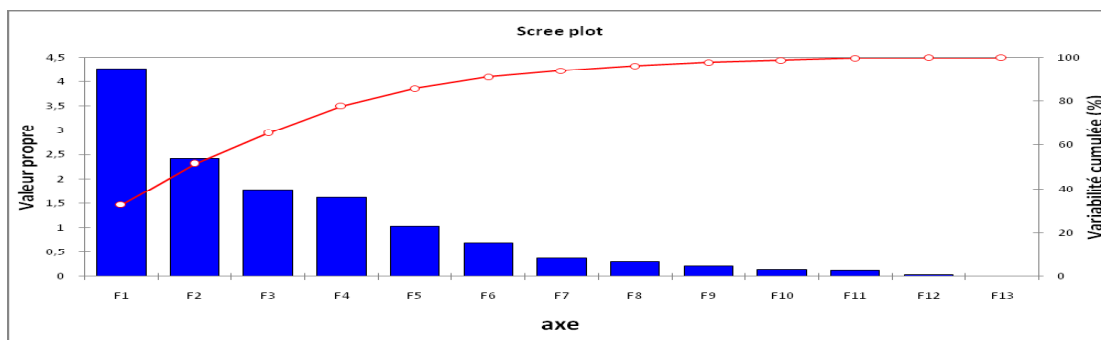


Figure 7 : variation des vecteurs propres.

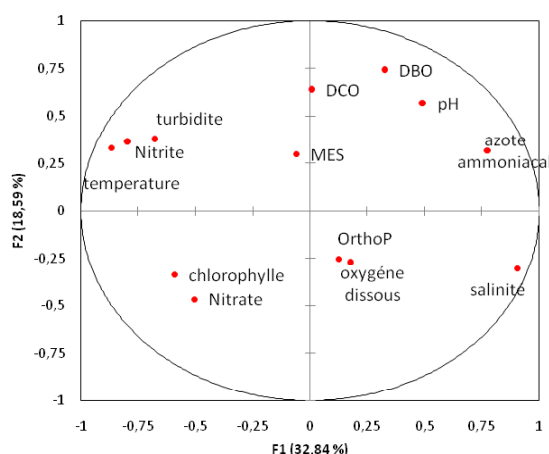


Figure 8 : Cercle de corrélation des variables (axes F1 et F2 : 51,43%)

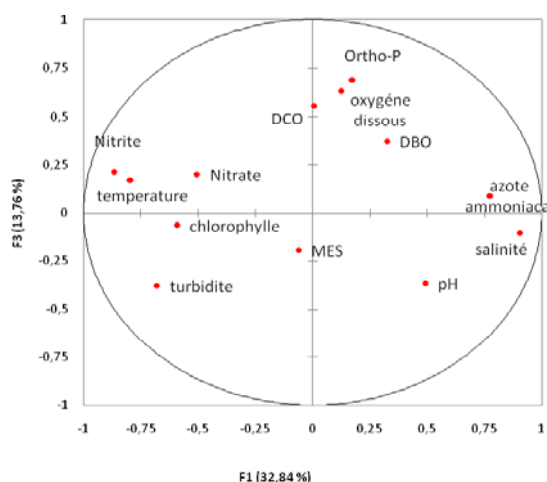


Figure 9 : Cercle de corrélation des variables (axes F1 et F3 : 46,59%)

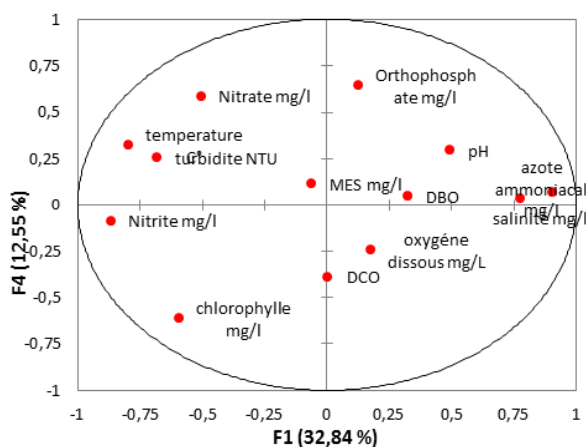


Figure 10 : Cercle de corrélation des variables (axes F1 et F4 : 45,39%)

Dans le cas des eaux de la lagune Sud de Tunis, on constate que l'azote ammoniacal, les nitrites, les orthophosphates, la salinité, l'oxygène dissous et la *chlorophylle a*, sont très proches du cercle de corrélation et sont donc très bien représentés sur le mapping.

D'après le premier graphique, on note que les nitrates et la *chlorophylle a* sont bien corrélés. Ainsi que les orthophosphates et l'oxygène dissous. Le deuxième graphique montre que les nitrates, les nitrites ainsi que la *chlorophylle a* sont corrélés. D'autre part, la DBO_5 , la DCO, les orthophosphates et l'oxygène dissous sont fortement corrélés. En revanche, les angles quasi droits formés entre les couples suivants : azote ammoniacal et oxygène dissous, *Chlorophylle a* et oxygène

dissous, ainsi que les nitrates et les nitrites avec l'oxygène dissous indiquent que ces variables sont indépendantes les unes des autres. (Fig. 8 9 et 10) .

DISCUSSION

Les résultats obtenus ont permis de tirer les conclusions suivantes:

La salinité et le pH présentent des teneurs proches de celle de l'eau de mer moyenne [5]. Les teneurs en oxygène dissous dans les eaux de surface sont généralement très faibles ce qui prouve que la lagune souffre d'une déficience en oxygène ; les mélanges entre la mer et la lagune étant négligeables. L'oxygène dissous est un facteur limitant pour la plupart des organismes. Son taux varie, dans les conditions normales, en fonction de la T°, de la salinité et de l'activité biologique (photosynthèse/ respiration).

La lagune est relativement chargée en éléments nutritifs, avec des valeurs très élevées en azote ammoniacal. Dans des conditions d'oxygénation suffisante, l'azote ammoniacal est oxydé en nitrite, puis en nitrate, par l'action de bactéries spécialisées, ce qui s'inscrit normalement dans le cycle de l'azote. Ce dernier est fortement perturbé au sein de la lagune et ce, suite aux apports d'eaux usées domestiques et industrielles mais aussi par la forte charge en phytoplancton. Les importantes quantités de biomasse et de matières organiques sont dégradées par voie biologique et/ou chimique, en milieu aérobie ; ce qui a pour conséquence la consommation importante d'oxygène dissous et une libération excessive d'ion ammonium. Une forte charge en matière organique témoigne également du dépassement de la capacité d'autoépuration de la lagune, ce qui provoque des dysfonctionnements de l'écosystème.

CONCLUSIONS

Les variations spatiales des paramètres physicochimiques montrent une hétérogénéité due à l'hydrodynamisme au niveau de la lagune sud de Tunis. Celle-ci souffre d'une déficience en oxygène dissous, probablement due à une forte consommation de ce dernier pour la dégradation de la matière organique.

Le cycle de l'azote est fortement perturbé par des apports d'eaux usées domestiques et industrielles mais aussi par une forte charge en phytoplancton.

Les résultats obtenus permettent de constater le dépassement de la capacité d'autoépuration de la lagune suite aux apports importants de matières organiques, provoquant un dysfonctionnement de l'écosystème qui est en rapport avec la baisse importante de teneur en oxygène dissous.

REFERENCES

- [1] I.N.M.- Institut National de la Météorologie, Rapport des données climatiques de la période 2007-2011.
- [2] JOUINI.Z, BEN CHARRADA.R & MOUSSA.M. 2005. Caractéristiques du Lac Sud de Tunis après sa restauration. *Marine.Live*, 15, (1-2) : 3-11.
- [3] ZAOUALI J. 1983 - Historique de l'évolution sédimentologique de la lagune sud de Tunis. Notes du service géologique de Tunis, n° 47.
- [4] HOLM.O & RIEMANN.B., 1978. Chlorophyll a determination : improvement in methodology. *Oikos*, 30: 438-447.
- [5] STUM ET MORGAN 1981 - Aquatic chemistry. Wiley Intersciences, New York, 450p.